



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109900356 A

(43)申请公布日 2019.06.18

(21)申请号 201910202155.6

(22)申请日 2019.03.15

(71)申请人 中国科学院微电子研究所  
地址 100029 北京市朝阳区北土城西路3号

(72)发明人 张罗莎 王宇 王魁波 朱精果  
杨光华 赵复生 亓岩 颜博霞  
韩春蕊 郭馨 陈进新 崔惠绒  
罗艳 谢婉露 周翊 吴晓斌

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021  
代理人 周天宇

(51)Int.Cl.  
G01J 1/00(2006.01)  
G01J 1/02(2006.01)

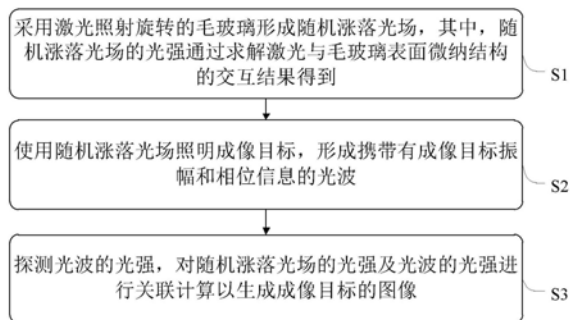
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

关联成像方法及装置

(57)摘要

一种关联成像方法及装置,方法包括:采用激光照射旋转的毛玻璃形成随机涨落光场,其中,该光场的光强通过求解激光与毛玻璃表面微纳结构的交互结果得到;使用随机涨落光场照明成像目标,形成携带有成像目标振幅和相位信息的光波;探测光波的光强,对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算以重建生成成像目标的图像。该方法及装置省去了分光镜与面阵探测器、数字微透镜阵列或者投影系统等复杂的光学模块,简化了成像系统的复杂度,提高了成像速度;直接通过麦克斯韦方程求解入射光波与毛玻璃表面微纳结构的交互结果,得到照明成像目标的随机涨落光场分布,提高了图像重建的分辨率;并且可实现亚波长结构成像,扩大了关联成像的使用范围。



1. 一种关联成像方法,其特征在于,包括:

S1,采用激光照射旋转的毛玻璃形成随机涨落光场,其中,所述随机涨落光场的光强通过求解所述激光与所述毛玻璃表面微纳结构的交互结果得到;

S2,使用所述随机涨落光场照明成像目标,形成携带有所述成像目标振幅和相位信息的光波;

S3,探测所述光波的光强,对所述随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算以生成所述成像目标的图像。

2. 根据权利要求1所述的关联成像方法,其特征在于,在步骤S1中,求解所述随机涨落光场的光强包括:

根据所述毛玻璃表面面型构建仿真毛玻璃表面模型;

建立坐标系,对所述仿真毛玻璃表面模型划分计算范围及计算单元网格;

在所述计算范围内按照划分的计算单元网格进行麦克斯韦方程求解,得到所述随机涨落光场的光强。

3. 根据权利要求2所述的关联成像方法,其特征在于,在所述计算范围内按照划分的计算单元网格进行麦克斯韦方程求解包括:

固定所述仿真毛玻璃表面模型位置,求解得到一组随机涨落光场的光强;

按照预设角度绕中心轴旋转所述仿真毛玻璃表面模型,求解得到另一组随机涨落光场的光强;

以此类推,旋转所述仿真毛玻璃表面模型一周,求解得到n组随机涨落光场的光强。

4. 根据权利要求2所述的关联成像方法,其特征在于,通过控制所述计算单元网格的精细程度调节所述随机涨落光场的分辨率,以提高所述像目标的图像的分辨率。

5. 根据权利要求1所述的关联成像方法,其特征在于,对所述随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算包括:

利用关联函数: $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle = \langle I_1(x_1) I_2(x_2, y_2) \rangle - \langle I_1(x_1) \rangle \langle I_2(x_2, y_2) \rangle$ ,其中, $\Delta I_1(x_1) = I_1(x_1) - \langle I_1(x_1) \rangle$   $\Delta I_2(x_2, y_2) = I_2(x_2, y_2) - \langle I_2(x_2, y_2) \rangle$ 对所述随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算,得到所述随机涨落光场与光波的强度关联项 $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle$ ;

其中, $I_1(x_1)$ 为所述光波的光强, $I_2(x_2, y_2)$ 为所述随机涨落光场的光强。 $\Delta I_1(x_1)$ 为所述光波光强的涨落, $\Delta I_2(x_2, y_2)$ 为所述随机涨落光场光强的涨落, $x_1$ 为探测所述光波光强的点探测器横向坐标, $(x_2, y_2)$ 为所述随机涨落光场的位置坐标。

6. 根据权利要求5所述的关联成像方法,其特征在于,根据所述关联函数及 $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle \propto |t(x_0)|^2$ 生成所述成像目标的图像,其中 $t(x_0)$ 为所述成像目标的强度函数。

7. 根据权利要求2所述的关联成像方法,其特征在于,根据所述毛玻璃表面面型构建仿真毛玻璃表面模型包括:

设置所述仿真毛玻璃表面模型的尺寸、折射率及表面反射率。

8. 根据权利要求2所述的关联成像方法,其特征在于,在根据所述毛玻璃表面面型构建仿真毛玻璃表面模型之后还包括:

插入光源模型,设置所述光源模型的光源参数,其中所述光源参数包括所述光源模型与所述仿真毛玻璃表面模型的距离及相对角度,所述光源模型的横截面积、光源类型、光源

波长及偏振态。

9. 根据权利要求2所述的关联成像方法,其特征在于,在根据所述毛玻璃表面面型构建仿真毛玻璃表面模型之前还包括:

利用面型测量仪或者原子力显微镜测量所述毛玻璃的表面面型。

10. 一种关联成像装置,用于对成像目标进行图像重建,其特征在于,包括:

光源,用于发射激光;

毛玻璃,用于对所述激光进行调制形成随机涨落光场,其中,所述随机涨落光场的光强通过求解所述激光与所述毛玻璃表面微纳结构的交互结果得到;

单像素探测器,用于探测所述随机涨落光场照明所述成像目标产生的携带有所述成像目标振幅和相位信息光波的光强;

图像重建模块,用于对所述随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算以重建所述成像目标的图像。

## 关联成像方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学成像领域,尤其涉及一种亚波长关联成像方法及装置。

### 背景技术

[0002] 传统的光学成像中,光学系统相当于低通滤波器,携带目标信息的光波经过有限孔径后,目标信息中的高频成分被滤除,所成像的细节信息丢失,从而导致图像边缘模糊,降低系统分辨率。关联成像由于采用经过成像目标后到达探测器的总光强进行目标图像重建,对于孔径有限的成像系统,有限的孔径对系统总光强的影响仅仅为一个衰减因子,总光强的衰减并不会导致图像边缘的模糊,理论上可以突破经典光学系统衍射极限,实现高分辨率成像,因此成为国内外研究热点。

[0003] 关联成像主要包括双臂关联成像及鬼成像技术。双臂关联成像结构示意图如图1所示,采用激光器1照射旋转的毛玻璃2,产生光强随机涨落的赝热光,经过分光镜3分光后,信号光照明成像目标5,携带成像目标信息的信号光被单像素探测器6接收,参考光经过分光后被面阵探测器4接收。采用单像素探测器6与面阵探测器4的关联结果重建成像目标的图像。该系统图像成像及图像重建速度较慢。由于方案中采用的面阵探测器4的工作原理决定了每一帧图像都需要足够的积分时间、读出时间,并且后续的模拟处理电路和数据采集电路会花费更多时间。目前,面阵探测器大多处于MHz水平,并且像素越多每帧图像采集所需时间越长。同时成像系统分辨率受制于面阵探测器4像素单元尺寸的限制。

[0004] 鬼成像结构示意图如图2所示,采用激光器1照射微透镜阵列或者投影装置7,产生光强涨落已知的赝热光照明成像目标5,携带成像目标信息的信号光被单像素探测器6接收,将单像素探测器6接收的总光强信息与已知的赝热光场信息做关联重建成像目标的图像。该系统中需要引入数字微透镜阵列或者投影系统等复杂的光学模块,用于产生随机涨落的光场分布。数字微透镜阵列的像素单元为 $10\mu\text{m}$ 左右,光场经过传输后分辨率相对较低,目前仅能用于遥感、建筑物或日常宏观物体的成像。因此,急需设计一种更完善的关联成像方法以满足实际需求。

### 发明内容

[0005] (一)要解决的技术问题

[0006] 针对于现有的技术问题,本发明提出一种亚波长关联成像方法及装置,用于至少部分解决上述技术问题。

[0007] (二)技术方案

[0008] 本发明一方面提供一种关联成像方法,包括:S1,采用激光照射旋转的毛玻璃形成随机涨落光场,其中,随机涨落光场的光强通过求解激光与毛玻璃表面微纳结构的交互结果得到;S2,使用随机涨落光场照明成像目标,形成携带有成像目标振幅和相位信息的光波;S3,探测光波的光强,对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算以生成成像目标的图像。

[0009] 可选地,在步骤S1中,求解随机涨落光场的光强包括:根据毛玻璃表面面型构建仿真毛玻璃表面模型;建立坐标系,对仿真毛玻璃表面模型划分计算范围及计算单元网格;在计算范围内按照划分的计算单元网格进行麦克斯韦方程求解,得到随机涨落光场的光强。

[0010] 可选地,在计算范围内按照划分的计算单元网格进行麦克斯韦方程求解包括:固定仿真毛玻璃表面模型位置,求解得到一组随机涨落光场的光强;按照预设角度绕中心轴旋转仿真毛玻璃表面模型,求解得到另一组随机涨落光场的光强;以此类推,旋转仿真毛玻璃表面模型一周,求解得到n组随机涨落光场的光强。

[0011] 可选地,通过控制计算单元网格的精细程度调节随机涨落光场的分辨率,以提高像目标的图像的分辨率。

[0012] 可选地,对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算包括:

[0013] 利用关联函数: $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle = \langle I_1(x_1) I_2(x_2, y_2) \rangle - \langle I_1(x_1) \rangle \langle I_2(x_2, y_2) \rangle$ ,其中, $\Delta I_1(x_1) = I_1(x_1) - \langle I_1(x_1) \rangle$   $\Delta I_2(x_2, y_2) = I_2(x_2, y_2) - \langle I_2(x_2, y_2) \rangle$ 对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算,得到随机涨落光场与光波的强度关联项 $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle$ ;

[0014] 其中, $I_1(x_1)$ 为光波的光强, $I_2(x_2, y_2)$ 为随机涨落光场的光强。 $\Delta I_1(x_1)$ 为光波光强的涨落, $\Delta I_2(x_2, y_2)$ 为随机涨落光场光强的涨落, $x_1$ 为探测光波光强的点探测器横向坐标, $(x_2, y_2)$ 为随机涨落光场的位置坐标。

[0015] 可选地,根据关联函数及 $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle \propto |t(x_0)|^2$ 生成成像目标的图像,其中 $t(x_0)$ 为成像目标的强度函数。

[0016] 可选地,根据毛玻璃表面面型构建仿真毛玻璃表面模型包括:设置仿真毛玻璃表面模型的尺寸、折射率及表面反射率。

[0017] 可选地,在根据毛玻璃表面面型构建仿真毛玻璃表面模型之后还包括:插入光源模型,设置光源模型的光源参数,其中光源参数包括光源模型与仿真毛玻璃表面模型的距离及相对角度,光源模型的横截面积、光源类型、光源波长及偏振态。

[0018] 可选地,在根据毛玻璃表面面型构建仿真毛玻璃表面模型之前还包括:利用面型测量仪或者原子力显微镜测量毛玻璃的表面面型。

[0019] 本发明另一方面提供一种关联成像装置,用于对成像目标进行图像重建,包括:光源,用于发射激光;毛玻璃,用于对激光进行调制形成随机涨落光场,其中,随机涨落光场的光强通过求解激光与毛玻璃表面微纳结构的交互结果得到;单像素探测器,用于探测随机涨落光场照明成像目标产生的携带有成像目标振幅和相位信息光波的光强;图像重建模块,用于对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算以重建成像目标的图像。

[0020] (三)有益效果

[0021] 本发明提出一种亚波长关联成像方法及装置,有益效果为:

[0022] 1、成像过程中不再采用分光镜与面阵探测器、数字微透镜阵列或者投影系统等复杂的光学模块,简化了系统的复杂度,实现单臂强度关联成像,并提高了成像速度。

[0023] 2、信号光不再采用面阵探测器直接测量,而是直接通过麦克斯韦方程求解入射光波与毛玻璃表面微纳结构的交互结果,得到照明成像目标的随机涨落光场分布,避免了面阵探测器直接测量过程中引入的噪声和误差影响图像重建精度。

[0024] 3、随机涨落光场分布的最小精度仅决定于毛玻璃表面最小单元的精细程度和传

播距离,不再受制于面阵探测器的像素尺寸,可实现亚波长结构成像,使关联成像的应用范围覆盖宏观及微观,扩大了其使用范围。

### 附图说明

- [0025] 图1是传统双臂强度关联成像结构示意图。
- [0026] 图2是鬼成像结构示意图。
- [0027] 图3是本发明实施例单臂强度关联成像方法流程图。
- [0028] 图4是本发明实施例单臂强度关联成像装置结构示意图。
- [0029] **【附图标记】**
- [0030] 1-激光器
- [0031] 2-毛玻璃
- [0032] 3-分光镜
- [0033] 4-面阵探测器
- [0034] 5-成像目标
- [0035] 6-单像素探测器
- [0036] 7-微透镜阵列或者投影装置
- [0037] 8-图像重建模块

### 具体实施方式

[0038] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明进一步详细说明。

[0039] 本发明提出一种亚波长关联成像方法及装置,采用单臂关联成像结构,信号光不再采用面阵探测器直接测量,或者通过复杂的光学模块如数字微透镜阵列或投影模块生成,而是直接通过麦克斯韦方程求解入射光波在毛玻璃表面微纳结构的交互结果,得到照明成像目标的随机涨落光场分布。避免了面阵探测器直接测量过程中引入的噪声和误差影响图像重建精度,限制图像重建分辨率。

[0040] 本发明提出一种亚波长关联成像方法,图3是本发明实施例单臂强度关联成像方法流程图,图4是本发明实施例单臂强度关联成像结构示意图。如图3及图4所示,该方法包括:

[0041] S1,采用激光照射旋转的毛玻璃形成随机涨落光场,其中,随机涨落光场的光强通过求解激光与毛玻璃表面微纳结构的交互结果得到。

[0042] 在上述步骤S1中,首先需要通过仿真计算求解麦克斯韦方程得到激光照射旋转的毛玻璃形成的随机涨落光场。

[0043] 具体地,首先,采用面型测量仪或者原子力显微镜测量毛玻璃2的表面面型,并根据测量的表面面型在电磁场仿真软件中建立仿真毛玻璃表面模型,设置该模型的尺寸、折射率、表面反射率等参数。

[0044] 然后,插入光源模型,按照具体的光学结构设置该光源模型的光源参数,该光源参数包括光源模型与仿真毛玻璃表面模型的距离及相对角度,光源模型的横截面积、光源类型、光源波长及偏振态等,并设置近场观测探测器,确保计算的准确性。

[0045] 最后,建立坐标系,对仿真毛玻璃表面模型划分计算范围及计算单元网格,在计算范围内按照划分的计算单元网格进行麦克斯韦方程求解,得到随机涨落光场的光强。计算过程中,固定仿真毛玻璃表面模型位置,求解得到一组随机涨落光场的光强,按照预设角度绕仿真毛玻璃表面模型的中心轴旋转仿真毛玻璃表面模型,求解得到另一组随机涨落光场的光强,以此类推,旋转仿真毛玻璃表面模型一周,求解得到n组随机涨落光场的光强,用于后续强度关联重建图像。该过程中随机涨落光场的最小单元可以由仿真软件的网格精细程度进行人为控制,实现随机涨落光场的分辨率可调,提高整个系统的成像分辨率。最小单元越精细,所需计算时间越长。即便如此,随机涨落光场分布数据的计算时长并不影响实际成像过程中图像的重建时长。

[0046] 在本发明一实施例中,电磁场仿真软件采用如FDTD Solution、FEM、CST等。

[0047] 在本发明一实施例中,绕中心轴旋转的角度设置为 $0.365^\circ$ ,最终计算后得到1000组随机涨落光场光强数据。

[0048] 由于采用的求解麦克斯韦方程得到随机涨落光场(信号光)的方式,不再采用分光镜与面阵探测器、数字微透镜阵列或者投影系统等复杂的光学模块,简化了系统的复杂度,实现单臂强度关联成像,并且提高了成像速度。

[0049] S2,使用随机涨落光场照明成像目标,形成携带有成像目标振幅和相位信息的光波。

[0050] 成像过程中,激光器1发出激光经过扩束后照射旋转的毛玻璃2,在毛玻璃2的粗糙表面上经过调制形成随机涨落光场分布,该随机涨落光场为步骤S1中经过仿真计算得到的。使用形成随机涨落光场照明成像目标5,并经成像目标调制形成携带有成像目标振幅和相位信息的光波继续传播。

[0051] S3,探测光波的光强,对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算以生成成像目标的图像。

[0052] 通过单像素探测器6快速响应探测步骤S2中携带有成像目标振幅和相位信息的光波的光强,再利用关联函数: $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle = \langle I_1(x_1) I_2(x_2, y_2) \rangle - \langle I_1(x_1) \rangle \langle I_2(x_2, y_2) \rangle$ ,其中, $\Delta I_1(x_1) = I_1(x_1) - \langle I_1(x_1) \rangle$ , $\Delta I_2(x_2, y_2) = I_2(x_2, y_2) - \langle I_2(x_2, y_2) \rangle$ 对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算,得到随机涨落光场与光波的强度关联项 $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle$ ,其中, $I_1(x_1)$ 为携带有成像目标振幅和相位信息光波的光强, $I_2(x_2, y_2)$ 为随机涨落光场的光强。 $\Delta I_1(x_1)$ 为携带有成像目标振幅和相位信息光波光强的涨落, $\Delta I_2(x_2, y_2)$ 为随机涨落光场光强的涨落, $x_1$ 为探测携带有成像目标振幅和相位信息光波光强的点探测器横向坐标, $(x_2, y_2)$ 为所述随机涨落光场的位置坐标。

[0053] 此时,信号光是通过仿真计算得到的随机涨落光场,而不是采用面阵探测器直接测量,避免了面阵探测器直接测量过程中引入的噪声和误差影响图像重建精度,并且随机涨落光场分布的最小精度仅决定于毛玻璃表面最小单元的精细程度和传播距离,不再受制于面阵探测器的像素尺寸,可实现亚波长结构成像。

[0054] 对计算得到的每一组随机涨落光场光强数据与光波做关联计算的得到所有的关联项,根据所有的关联项及 $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle \propto |t(x_0)|^2$ 即可重建生成成像目标的图像,其中 $t(x_0)$ 为成像目标的强度函数。

[0055] 本发明实施例还提供一种亚波长关联成像装置,如图4所示,包括:

[0056] 光源,用于发射激光,在本发明一实施例中,光源采用激光器1。

[0057] 毛玻璃2,用于对激光进行调制形成随机涨落光场,其中,随机涨落光场的光强通过求解激光与毛玻璃表面微纳结构的交互结果得到。随机涨落光场的光强计算过程为:

[0058] 首先,采用面型测量仪或者原子力显微镜测量毛玻璃2的表面面型,并根据测量的表面面型在电磁场仿真软件中建立仿真毛玻璃表面模型,设置该模型的尺寸、折射率、表面反射率等参数。

[0059] 然后,插入光源模型,按照具体的光学结构设置该光源模型的光源参数,该光源参数包括光源模型与仿真毛玻璃表面模型的距离及相对角度,光源模型的横截面积、光源类型、光源波长及偏振态等,并设置近场观测探测器,确保计算的准确性。

[0060] 最后,建立坐标系,对仿真毛玻璃表面模型划分计算范围及计算单元网格,在计算范围内按照划分的计算单元网格进行麦克斯韦方程求解,得到随机涨落光场的光强。计算过程中,固定仿真毛玻璃表面模型位置,求解得到一组随机涨落光场的光强,按照预设角度绕仿真毛玻璃表面模型的中心轴旋转仿真毛玻璃表面模型,求解得到另一组随机涨落光场的光强,以此类推,旋转仿真毛玻璃表面模型一周,求解得到n组随机涨落光场的光强,用于后续强度关联重建图像。该过程中随机涨落光场的最小单元可以由仿真软件的网格精细程度进行人为控制,实现随机涨落光场的分辨率可调,提高整个系统的成像分辨率。

[0061] 单像素探测器6,用于探测随机涨落光场照明成像目标5产生的携带有成像目标振幅和相位信息光波的光强。

[0062] 图像重建模块8,用于对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算以重建成像目标的图像。具体地,利用关联函数: $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle = \langle I_1(x_1) I_2(x_2, y_2) \rangle - \langle I_1(x_1) \rangle \langle I_2(x_2, y_2) \rangle$ ,其中, $\Delta I_1(x_1) = I_1(x_1) - \langle I_1(x_1) \rangle$ 、 $\Delta I_2(x_2, y_2) = I_2(x_2, y_2) - \langle I_2(x_2, y_2) \rangle$ 对随机涨落光场的光强及光波的光强进行关联计算,得到随机涨落光场与光波的强度关联项 $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle$ ,其中, $I_1(x_1)$ 为携带有成像目标振幅和相位信息光波的光强, $I_2(x_2, y_2)$ 为随机涨落光场的光强。 $\Delta I_1(x_1)$ 为携带有成像目标振幅和相位信息光波光强的涨落, $\Delta I_2(x_2, y_2)$ 为随机涨落光场光强的涨落, $x_1$ 为探测携带有成像目标振幅和相位信息光波光强的点探测器横向坐标, $(x_2, y_2)$ 为所述随机涨落光场的位置坐标。对计算得到的每一组随机涨落光场光强数据与光波做关联计算的得到所有的关联项,根据所有的关联项及 $\langle \Delta I_1(x_1) \Delta I_2(x_2, y_2) \rangle \propto |t(x_0)|^2$ 即可重建生成成像目标的图像,其中 $t(x_0)$ 为成像目标的强度函数。其中,图像重建模块可为储存有关联计算程序的硬件系统。

[0063] 综上所述,本发明通过麦克斯韦方程求解入射光波在毛玻璃表面微纳结构的交互结果,得到照明成像目标的随机涨落光场分布,提高了图像的重建速度及分辨率,且实现了亚波长结构成像。

[0064] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



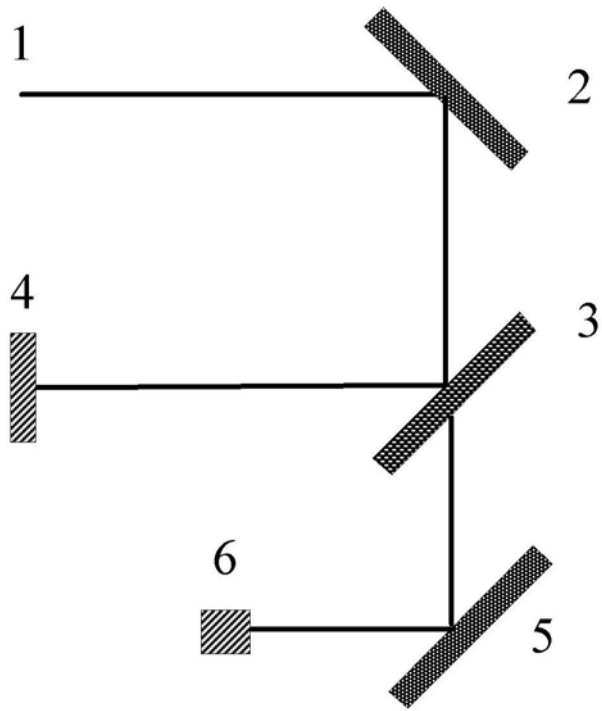


图1

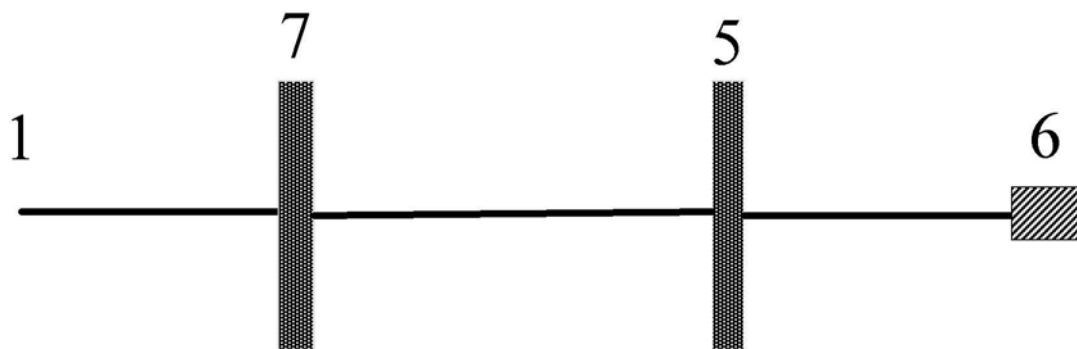


图2

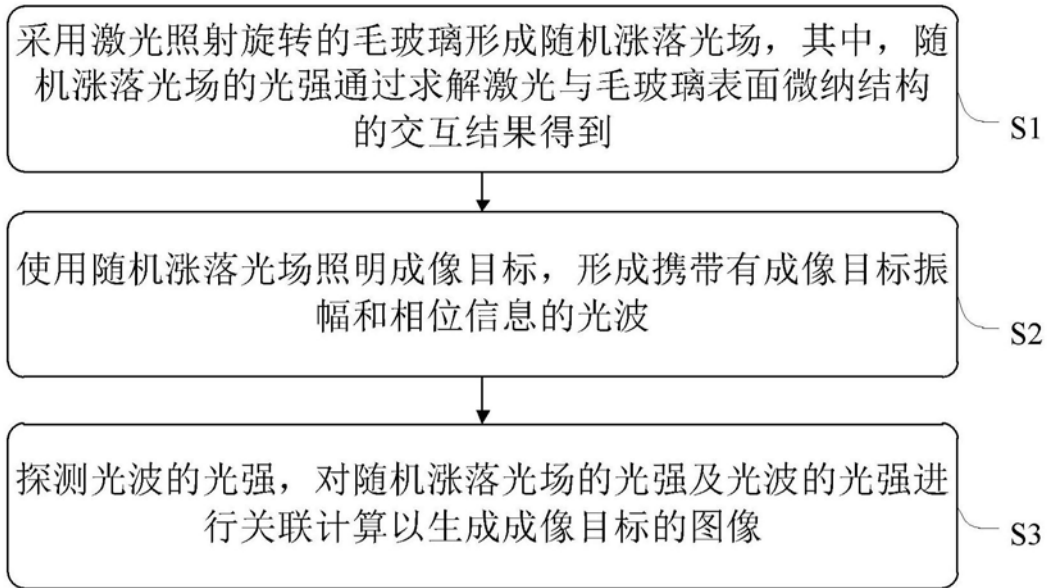


图3

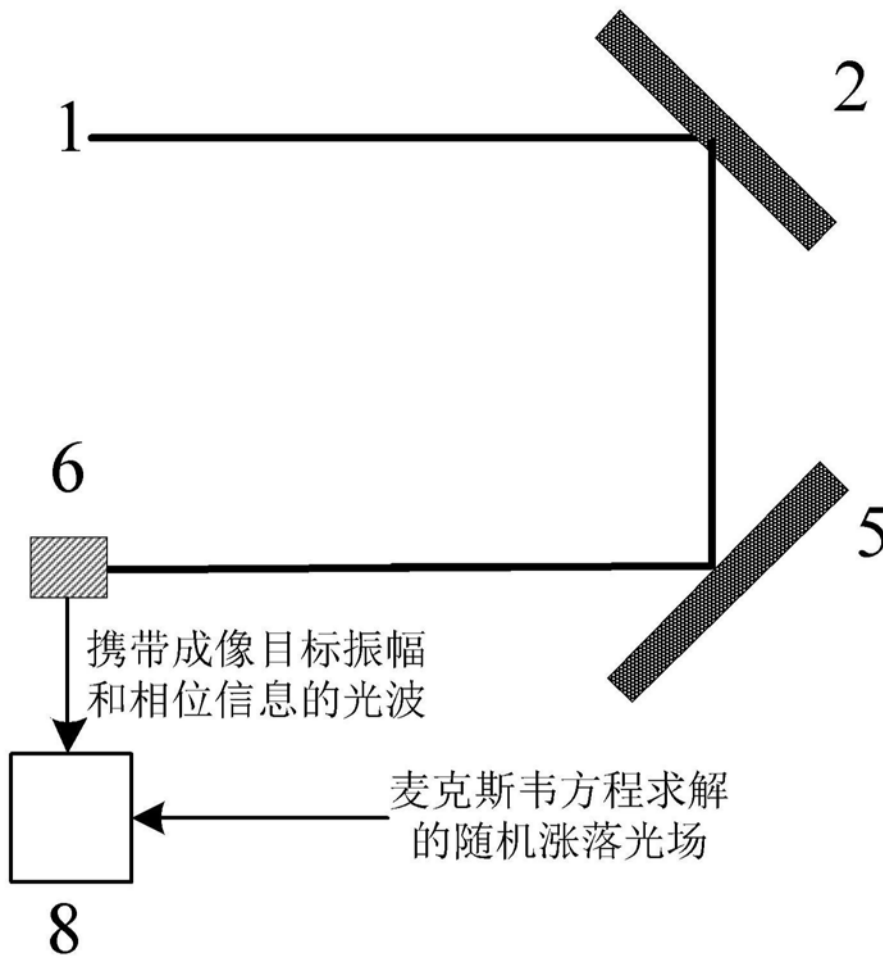


图4